

УДК 621.039

СВЕТ И ТЕНИ «НОВОЙ АЛХИМИИ»

Ю.В.Егоров

Уральский государственный технический университет – УПИ
620002, Екатеринбург, Мира, 19
betenkov@dpt.ustu.ru

Поступила в редакцию 10 июня 2002 г.

Явления радиоактивности, деления тяжелых ядер и ядерного синтеза легли в основу новых направлений в науке и технике: ядерной физики, радиохимии, атомной энергетики. Развитие энергетики приводит как к улучшению качества жизни, так и к появлению ряда негативных последствий. Технический прогресс, в том числе ядерная энергетика, должен сопровождаться адекватным совершенствованием сфер образования и просвещения. Важная роль при этом принадлежит радиоэкологическому просвещению, которое должно находиться в руках профессионалов – физиков, радиохимиков и радиоэкологов, умеющих взвешенно и точно оценить выгоду и ущерб от ядерной энергетики.

Егоров Юрий Вячеславович – профессор Уральского государственного технического университета – УПИ, доктор химических наук, заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАЕН, член редколлегии журналов «Радиохимия» и «Аналитика и контроль».

Область научных интересов: общая и прикладная радиохимия, радиоэкологические аспекты охраны природы, логика, методология и история естествознания. Автор более 250 статей и 5 монографий.

Посвящается памяти Сергея Александровича Вознесенского (1892-1958), основоположника Уральской радиохимической школы, 110-летие со дня рождения которого отмечалось было 18 ноября 2002 года.

И невозможное возможно...
А.Блок

Сто пятьдесят лет назад 15 декабря 1852 года родился Антуан Анри Беккерель, французский физик, открывший в 1896 году “явление естественной радиоактивности урана”, как обычно формулируют его вклад в науку биографические справочники. Кроме того, он же, независимо от своего научного последователя Пьера Кюри, пять лет спустя (1901), обнаружил и “эффект физиологического действия радиоактивного излучения”, проще говоря, способность “урановых лучей” ионизировать воздух и вызывать ожоги при соприкосновении с телом, даже если между радиоактивным веществом и кожей находится ткань одежды. Таким образом, излучение свидетельствовало о существовании нового и очень грозного вида энергии.

Открытие Беккереля вопреки довольно распространенному мнению о его случайности [1, 2] продолжило “драму фактов”, разыгравшуюся в физике в конце XIX века (первым актом этой драмы было открытие в 1895 г. Вильгельмом Конрадом Рентгеном “икс-лучей”, называемых в русской научной литературе “рентгеновскими”). На следующий год после открытия Беккереля Джозеф Джон Томсон, исследуя отклонения катодных лучей в магнитном и электрическом полях, обнаружил и продемонстрировал существование электрона как элементарной частицы.

Три этих замечательных открытия в области экспериментальной физики, сделанные в течение трех лет, привели науку в “проблемное” состояние, лишив просвещенное человечество самодо-

вольной успокоенности. Однако настоящий кризис в физике, породивший “драму идей” вслед за “драмой фактов”, разразился уже после существенного улучшения техники измерения излучений различной природы и проведения ряда исследований в области физической оптики. Это привело к обнаружению противоречия между экспериментом и классической электродинамикой, что побудило Макса Планка для разрешения проблемы выдвинуть идею квантования энергии излучения абсолютно черного тела.

Концепция квантов стала в дальнейшем общепринятой и легла в основу квантовой механики, открывшей путь познания глубин атомной и ядерной физики.

Возросший интерес к изучению физики микромира вскоре привел к обнаружению и освоению ядерной энергии, грозное и трагическое проявление которой человечество увидело на примере трех цепных реакций деления ядер в виде взрывов - испытательного в Неваде и двух над японскими городами Хиросимой и Нагасаки. Это можно считать моментом окончательного утверждения науки и техники в роли глобальных политических факторов (как системно-созидающих, так и разрушительных).

Таким образом, представление о фундаментальной простоте атомов как о первичных и неделимых сущностях этими открытиями было разрушено. Стало ясно, что природа атомов и их свойства сложны, стабильность относительна, а в атомных недрах скрывается неизвестный вид энергии, который в интенсивном отношении превосходит любую экзотермическую химическую реакцию.

Следует различать процессы *радиоактивного распада и деления ядер*. Открытие Беккерелем радиоактивности урана, повлекшее за собой обнаружение и других радиоактивных элементов - тория, полония, радия, радона и др., - можно было бы назвать только намеком на существование ранее неизвестного источника энергии. В сущности, *атомной*, а точнее, *ядерной*, является не та энергия, которая выделяется при распаде, с альфа- и бета-излучением частиц и гамма-квантов, а та, которая сопровождает деление ядер изотопов некоторых тяжелых элементов. (Этот эффект был открыт в 1938 году Отто Ганом и Фридрихом Штрассманом на примере деления ядер урана).

Таким образом, радиоактивность некоторых химических элементов, не будучи сама по себе значительным энергетическим ресурсом, все-таки соединена с тем, что называют “энергией мирного атома”, когда не хотят упоминать “атом-

ную бомбу”: все изотопы элементов, находящихся в конце периодической системы и способных к делению, вызывающему цепную реакцию с колоссальным энергетическим эффектом, - радиоактивны. Кроме того, продукты деления тяжелых ядер - тоже радиоактивны, хотя в энергетическом отношении малополезны и вредоносны для живых организмов. Именно эта “сцепленность” двух явлений микромира - опасного и в смысле “большой” энергетики бесполезного *распада* и несущего энергию *деления* - омрачает разгадку природы атома, несмотря на расширение “разведанных” запасов энергии. Дело дошло до того, что радиоактивные вещества превратились в главные “страшилки” средств массовой информации, вызывающие у людей большую тревогу, чем плохая питьевая вода, утечки бытового газа или нетрезвые водители автомобилей, регулярно снижающие статистический показатель качества жизни населения - ее среднюю продолжительность.

Называя ушедший XX век “атомным”, люди вкладывают в это определение и восхищение разумом, и разочарование в технических приложениях ядерной физики, особенно после кыштымского взрыва (Восточно-Уральский радиоактивный след, 1957) и чернобыльской аварии (1986). Спустя сто пять лет после открытия радиоактивности и пятнадцать лет после трагедии на ЧАЭС, резонно задать вопрос: как же следует относиться к освоению атомной энергии? Что это - бесспорное благо, абсолютное зло или, может быть, равнодушная неизбежность? Ведь никакими заклинаниями расширение объема знаний о природе не остановить, а сослагательное наклонение при оценке прошлого вообще неуместно.

Общественное мнение или, правильнее сказать, - общественное настроение по отношению к атомной энергетике складывается двоякое. С одной стороны, она улучшает энергетический баланс техносферы, так как сжигание запасенного Землей углеводородного топлива не может продолжаться вечно, это горючее рано или поздно иссякнет. А вырубание лесов будет отражаться на изменении климата на Земле, чему причиной явится нарушение установившегося круговорота воды и биосферных циклов “живого вещества”, начинающихся с фотосинтеза. Даже если не касаться предполагаемого “парникового эффекта”, о вероятности наступления которого осторожными и ответственными специалистами высказываются разные мнения, то при сложившихся потоках вещества и энергии в изменяемой человеком природе нельзя исключать непредс-

казуемые изменения в биоте. Особенно опасными могут стать изменения в мире бактерий, грибов и простейших организмов, что может повлечь за собой новые виды заболеваний. Одним словом, биосфера не обязательно будет пластично реагировать на антропогенное давление. Она резко и непредсказуемо, т.е. *катастрофично* (это термин метаязыка теории систем) может перейти в некоторое новое и, вполне возможно, более устойчивое стационарное состояние, но не исключено, что человечество там не найдет для себя удовлетворительной экологической ниши.

Отказ от традиционной энергетики в пользу других источников (солнечные батареи, ветровые установки, приливные и геотермальные электростанции и др.) не сможет обеспечить сложившуюся потребность в энергии, и наивно предполагать, что население наиболее развитых стран станет бесконфликтно ее снижать. Таким образом, атомные электростанции могут, должны и будут еще долго служить человечеству, поскольку все остальные, "альтернативные", пути и источники пока пребывают в виртуальном пространстве и прекраснотушных футурологиях некоторых активистов "зеленого движения", в поведении которых больше клиники, чем логики.

Тем не менее, несмотря на "экологичность" штатно работающих (нелишне подчеркнуть!) атомных станций, все равно не исчезает тревожный вопрос: каковы гарантии, что ядерно-физическая (она же и ядерно-химическая) катастрофа, подобная чернобыльской, не повторится? На этот прямо поставленный вопрос (в котором спрятано ожидание сообщения о *стопроцентной гарантии*¹) нельзя ответить столь же категорично. Проблема безопасности жизнедеятельности не настолько проста и самоочевидна, чтобы ее можно было хотя бы приблизительно наметить в одной популярной заметке. А что касается постоянного "припева" про сто процентов, то современная концепция приемлемого риска исходит из того положения, что *не существует никаких видов деятельности, включая полную бездеятельность, характеризующихся нулевым риском*. Так, над каждым жителем современной России висит

дамоклов меч в виде хорошо воспроизводимой вероятности попадания в автомобильную катастрофу с летальным, как говорится, исходом². Конечно, человеку, попавшему в подобную ситуацию, безразлично, с какой вероятностью происходят события, называемые ДТП, но люди и с еще не поврежденным автомобилями здоровьем тоже в основном не интересуются статистикой дорожно-транспортных происшествий. Во всяком случае эта информация, даже в форме натуралистических телевизионных репортажей, которые очень популярны в России, не заставляет людей объединяться по аналогии с "зелеными" в некое антиавтомобильное движение.

Для осознания неоднозначности психологических и социальных аспектов концепции приемлемого риска можно предложить некий мысленный эксперимент, двигаясь "от противного".

Представим себе, что когда-нибудь под влиянием общественного настроения будет принята государственная программа "закрытия" атомной энергетики, рассчитанная на определенное количество лет, поскольку одномоментно не могут быть решены задачи демонтажа, обезвреживания и захоронения оборудования, реабилитации территорий, трудоустройства специалистов и т.д. Затем примем во внимание, что любая созидательная деятельность людей, если она не касается острых и сиюминутных проблем выживания, протекает в единстве энтузиазма и мастерства. Так уж устроен человек: им руководят не только потребности и страх, контролируемые знанием, но и мода, распространяющаяся не только на фасон шляпок, но и на социальное поведение. Так, моде подвержена и профессиональная ориентация молодежи - достаточно взглянуть на конкурсы в различные вузы, чтобы составить впечатление о том, что сейчас понимается под престижной специальностью. Мода выстраивает и регулирует довольно динамичную иерархию ценностей и другие комплексы выбора и вкуса.

Теперь пусть читатель задумается, - неужели для "непрестижного" демонтажа целой энергетической подотрасли государство сможет подгото-

¹ Патриарх Московский и Всея Руси Алексей II недавно заявил, что не взмахнет кадилом около последних захоронений царской семьи, пока не будут предоставлены стопроцентные гарантии подлинности останков. Так что даже четыре или пять "девяток после запятой" могут не устроить многих людей, требующих *абсолютных гарантий* безопасности АЭС или *абсолютной достоверности* предполагаемых или прошлых событий в техносфере, но продолжающих летать на самолетах, курить и вкладывать свои трудовые рубли в "пирамиды", подобные MMM. По-видимому, *реальная* жизнедеятельность не сочетается с понятием "абсолютная гарантия".

² "В нашей стране (имеется в виду СССР. - Ю.Е.) при парке автомобилей в 20 миллионов единиц ежегодно попадает в аварии 600 тысяч автомобилей, 300 тысяч человек получают ранения 61 тысяча гибнут" (В. Захаров и др.// Правда. 1990. 30 окт.) По последним данным только в России в ДТП ежегодно погибает 30 тысяч человек. Если исходить из величины населения 150 миллионов, то оценка степени риска гибели в ДТП будет такова: $2 \cdot 10^{-4}$ смертельных исходов, приходящихся в среднем в год на одного человека.

циалистов, самоотверженных и дисциплинированных, имеющих хотя бы сотую долю суммы профессиональных и моральных качеств, какими обладали первые отечественные атомщики "курчатовского призыва"?

Энтузиазм - стихия тоже иссякающая. Разве можно представить себе, что в настоящее время в России будет организована сеть служб, оснащенных самым современным оборудованием и технологиями уборки, сортировки, вывоза, утилизации (!) и захоронения городских бытовых отходов, особенно в малых городах и поселках? Так неужели ликвидация и обезвреживание "атомных" отходов может стать для кого-то воплощением юношеской мечты? Ведь это только в сказке - "все пустяк для дурака". Работа на АЭС, требующая от инженеров и операторов особо тщательной подготовки, выработка энергии для общественных нужд как выполнение благородной миссии и популярное решение задач защиты, обезвреживания отходов и т.п. - это да!

А "атомно-кладбищенская" деятельность как самостоятельная цель в послеперестроечное время вряд ли кого-то прельстит. Для этой предполагаемой профессии невозможно подыскать даже название в одно слово, которое можно было бы поместить в объявлении приемной комиссии ("эколог-демонтажник" или "эколог-утилизатор" что ли?); то ли дело - менеджер, юрист, экономист или, хотя бы, энергетик?

Впрочем, если за эту деятельность, посвященную прекращению эксплуатации АЭС и последующей реабилитации территорий, хорошо заплатить... Но ведь это тоже прекраснотушие: всероссийский демонтаж за большие деньги - экономическое безумие. А если делать за малые деньги и с помощью кого попало, то на эту работу согласятся люди, среди которых с большой вероятностью окажутся будущие виновники очередных ядерных и радиохимических аварий.

В связи с этим нелишне обратить внимание на события, происходящие в армии даже не в связи с ее "ликвидацией" (об этом нет и не может быть речи!), а всего лишь с реформой, направленной на ее совершенствование и укрепление. "Расползание" по стране огнестрельного оружия и взрывчатых веществ, частые пожары и взрывы на складах боеприпасов и т.п., - явления, происходящие на фоне падения престижа профессий, связанных с военным делом, не говоря уж о срочной службе в армии. Причин этому много - пусть это объясняют политологи и социологи, но одним из факторов определенно является ослабление централизованного финансирования и государ-

ственного попечительства. Эти явления могут послужить в качестве "разведки боем" образцом того, что может произойти с ядерным топливным циклом, если начать его свертывание в России под давлением прекраснотушных защитников окружающей среды.

Разрушение структуры любой достаточно сложной системы неизбежно приводит ее к "самоотравлению", это общий системный принцип. Поэтому, возвращаясь к вышеизложенному мысленному эксперименту, можно предсказать появление в руках преступно настроенных граждан и обыкновенных авантюристов опаснейших вещей, веществ и материалов. Они для достижения своих целей наверняка станут применять их с наименьшей виртуозностью, чем та, которую они демонстрировали, когда "осваивали" полубесхозные автоматы, пистолеты и гранатометы. Поскольку эта публика очень инициативна, но, как правило, безграмотна, то Россия, что называется, в одночасье может превратиться в "зону", изображенную в "Сталкере" Тарковского, перед чем померкнет трагедия ВУРСа и Чернобыля.

Представляется, что мировое сообщество и Россия в том числе, если она не собирается выпадать из общечеловеческой траектории, буквально обречены на использование атомной энергии, обеспечивая при этом научно обоснованный, технически воплощаемый, экономически оправдываемый и приемлемый уровень безопасности. Ведь авария типа чернобыльской не была проиграна в свое время даже на уровне имитационных моделей. Она и умозрительно не предполагалась создателями реакторов серии РБМК как потенциально возможная. Тем не менее эти реакторы были приняты к эксплуатации, в частности и по соображениям меньшей стоимости, чем водо-водяные реакторы, более распространенные за рубежом. Так что чернобыльскую аварию следовало бы называть не столько ядерно-физической и радиохимической, сколько экономической катастрофой. "Скупой платит дважды," - гласит афоризм системно мыслящих людей. Неужели в справедливости этой мысли нужно всякий раз убеждаться, так сказать, экспериментально?

Причины аварии комплексны, но и последствия этой аварии тоже невозможно рассматривать только в одном радиологическом плане, поскольку и оперативная информация об аспектах вреда, и предварительные знания о поражающих факторах ядерного происхождения, находившиеся в распоряжении властей и населения, были недостаточными. Это можно было бы назвать в свою очередь "информационной катастрофой",

явившейся в форме соединения незнания с умалчиванием. Сейчас уже трудно представить себе, чем руководствовались официальные власти не только Украины и Белоруссии, но и многих областей России, когда принимали участие в Первомайской демонстрации вместо того, чтобы повсеместно ее в тот день запретить. Хотелось бы думать, что это было следствием незнания. Хотелось бы...

В первое время после аварии чаще всего в публикациях упоминались радиоизотопы иода, затем цезия. Позже стали говорить о роли стронция-90 и уже затем, через несколько лет, о радионуклидах плутония и америция. О короткоживущих изотопах ксенона и криптона в прессе практически ничего не сообщалось, хотя их вклад в формирование дозы в первые часы и дни как раз был велик; а к настоящему времени от них, так сказать, и следов не осталось. Эта последовательность упоминаний скорее отражает относительную доступность обнаружения соответствующего излучателя, чем его опасность. В этом отношении все обстоит как раз наоборот: радиоизотопы цезия и другие носители высокоэнергетичного гамма-излучения "видны" уже с помощью простейших дозиметров. Поэтому их присутствие обнаруживается раньше более опасных (если иметь в виду попадание внутрь организма) альфа-излучающих радионуклидов трансурановых элементов, которые "увидеть" с помощью неких простых переносных приборов невозможно. Анализ на присутствие актинидов, как, впрочем, и многих "чистых" бета-излучателей, таких как стронций-90, углерод-14, тритий и др., относительно длителен и требует специальной подготовки пробы исследуемого объекта и наличия радиометрической и спектрометрической аппаратуры. В итоге до общественного сознания дошло, что, спустя несколько лет, рассеянные альфа-излучающие трансурановые актиниды составляют львиную долю сегодняшнего радиоэкологического неблагополучия в загрязненных районах. Но нужно иметь в виду, что эти радионуклиды уже выполняли свою вредную роль с самых первых мгновений аварии; и то обстоятельство, что тогда присутствовали факторы еще более грозные, например иод-131, не затмевает размера и сути вреда, причиняемого плутонием и америцием.

Итак, если альтернативные формы энергетики (ветровая, солнечная и т.п.) в состоянии покрыть не более десятой части современных потребностей, если отказ от атомной энергии грозит негативными последствиями ликвидируемой структуры, сравнимыми с ползучей радиохимической аварией глобального масштаба, то,

может быть, следует еще раз вернуться к лозунгу "ограничения роста", который уже рассматривался Римским клубом и был снят как утопический?

Этот вопрос можно задавать бесконечно, но заказными лозунгами, призывающими к добровольной аскезе, психологию, сложившуюся в обществе потребления, не изменить. Выстраивание политической или экономической стратегии на идее ограничения потребностей и "натурализации" жизни - очередная утопия, что отлично понимали академики С.С. Шварц и Н.Н. Моисеев [3, 4]. И рекомендации экологического конгресса в Рио-де-Жанейро (1992) не содержат упоминаний о сдерживающих рост началах в стратегии человечества, а провозглашают "устойчивое развитие" при необходимости осуществления новой модернизации (впрочем и эту доктрину Н.Н. Моисеев тоже считал "одним из опаснейших заблуждений современности").

Отвлечемся от обсуждения перспектив атомной энергетики, приняв во внимание, что эта тема затрагивает не только научно-техническую сторону, но и такие сферы, как экономика, политика, социальная психология, генетика, гигиена и медицина и даже демография, этнография и религия.

Вернемся к обсуждению явления радиоактивного распада, поскольку окружающий человека мир изначально радиоактивен вследствие геохимического рассеяния урана, тория и радиоизотопа калия (калий-40). Кроме того, оба природных изотопа урана (уран-235 и 238) и торий-232 в процессе радиохимической эволюции породили еще свыше четырех десятков радионуклидов, входящих в их "семейства", среди которых есть особо опасные: свинец-210, полоний-210, астат-211, радий-226 и 228, актиний-227, торий-228 и 230, протактиний-231 и изотопы радона.

Нередко высказываются следующие суждения в отношении природных радионуклидов. Дескать, если гипотезы биологов-эволюционистов о происхождении жизни на Земле справедливы, то живое вещество должно было возникнуть в условиях более высокой радиоактивности, чем сегодняшняя. Радионуклиды, входящие в три природных семейства и калий-40, только распадаются, у них нет никакого производящего источника, значит, во времена образования первых живых структур их было больше. И это произошло, несмотря на ионизирующие излучения, являющиеся следствием распада. Почему же в таком случае этот фактор, неотделимый от всего живого, предстает в роли вредоносного? Ведь

можно, например, допустить, что жизнь возникла не *несмотря* на радиоактивность, а *благодаря* ей. Так, известно, что среднестатистический человек, в теле которого обязательно присутствует биологически важный химический элемент калий, только за счет входящего в этот элемент природного радиоактивного изотопа калий-40 имеет удельную активность около ста беккерелей на килограмм массы тела. (Один беккерель есть единица абсолютной активности, равная одному акту распада в секунду). Но это всего лишь примерно в сорок тысяч раз меньше, чем активность одного килограмма природного тория. Сорок тысяч, конечно, большое число, но не надо забывать, что и человек - не торий. Вот почему "всего лишь". Нужно заметить, что недостаток калия в организме чреват различными функциональными расстройствами и даже заболеваниями. Получается, что когда человеку рекомендуют употреблять в пищу побольше фруктов и овощей или прописывают ему лекарства, содержащие калий, то невольно тем самым способствуют некоторому увеличению радиоактивности его тела, хотя никому не приходит в голову считать это опасным.

Эти соображения нередко используют при обсуждении биологической роли радиоактивности как аргумент, якобы подтверждающий необоснованность высокой настороженности людей по отношению к радиоактивным веществам и ионизирующим излучениям.

Абсолютная изоляция живых организмов от внешнего и внутреннего облучения, разумеется, принципиально недостижима. Поэтому разумно ставить вопрос только о некоем дозовом минимуме, не приводящем к неприемлемому ущербу для здоровья, который обычно отождествляют с "нормой" (не будем касаться терминологических уточнений, в данном тексте они неуместны). Эта проблема в радиобиологии еще не получила однозначного и окончательного разрешения, но на современном уровне знаний соответствующие "нормы" как для профессионалов, так и для остальной части населения установлены и включены в рекомендации Международной комиссии по радиологической защите. Последние рекомендации учитывают, в частности, опыт ликвидации чернобыльской аварии, трагическое пятнадцатилетие которой пришлось на весну 2001 года. В этом документе признается, что оптимизация решений при возможности возникновения радиационной опасности только на основе компромисса между риском появления неблагоприятных последствий и пользой, извлекаемой из разумного применения излучений и радионукли-

дов, невозможна. Здесь необходимо учитывать и нерадиационные факторы: социально-психологические (отношение населения к принимаемым решениям), психическое воздействие радиационной обстановки на здоровье людей, тип традиционного питания и т.п. Но при господстве любых, даже самых жестких норм, следует иметь в виду, что если будет снижаться дозовая нагрузка на отдельного человека, а число облучаемых людей станет увеличиваться и при этом "коллективная доза" будет оставаться постоянной, то эту ситуацию следует считать неприемлемой и опасной для человечества в целом, ибо суммарное число жертв облучения (а это - дьявольская "лотерея", никто не может заранее сказать, на кого падет печальный жребий) все равно не уменьшится. Эта "негативная тень прогресса" является своего рода "налогом" на энергетический комфорт.

Таким образом, стратегия защиты населения Земли от радиационных поражений должна включать две тенденции: с одной стороны, минимизацию индивидуальных доз, а с другой стороны - минимизацию числа облучаемых людей пусть даже и дозами, которые на каком-то основании признаются "незначительными" и допустимыми, поскольку в концепции приемлемого риска отсутствует понятие "нулевого" риска, т.е. абсолютной безопасности.

Особого внимания заслуживает распространенный способ рассуждений, когда рассматривается несколько независимых источников риска и один из них предлагается признать незначительным, поскольку он вносит пренебрежимо малый вклад по сравнению со всеми другими. Это хорошо известное заблуждение ума, переносящее выводы относительной оценки на оценку абсолютную.

Академик А.Д. Сахаров еще в 1959 году, анализируя отрицательные биологические эффекты ядерных испытаний, писал, что "один из аргументов сторонников теории "безопасности" испытаний заключается в том, что космические лучи приводят к большим дозам облучения, чем дозы от испытаний. Но этот аргумент не отменяет того факта, что к уже имеющимся в мире страданиям и гибели людей дополнительно добавляются страдание и гибель сотен тысяч жертв, в том числе в нейтральных странах, а также в будущих поколениях. Две мировые войны тоже добавили менее 10% к смертности в XX веке, но это не делает войны нормальным явлением"[5].

Таким образом, любые оценочные суждения можно подтвердить или развеять экспериментами и расчетами на основании установленных

закономерностей, но трудно преодолеть ошибочные (это еще поправимо), чаще антинаучные, мифологизированные, представления о сущности и роли радиоактивности. Иногда и по телевизору можно увидеть, как некий экстрасенс пасами рук "снижает" в водоеме концентрацию радиоактивного трития. Этот сюжет, конечно, лежит вне науки, потому что все становится совершенно ясным после квалифицированных измерений, но вот некоторые другие рекомендации "борьбы" с радиоактивностью тоже недалеко ушли от знахарства по эффективности и результатам, хотя и более наукоподобны. Так, вряд ли существует простой, полный и универсальный фильтрационный (сорбционный) способ очистки питьевой воды "от радиоактивности" (или проще того - "от радиации"), так же как и панацея для "выведения радиоактивности" из организма. Удалены и выведены могут быть *только конкретные радионуклиды*, обладающие различными, иногда противоположными, химическими свойствами, а не вообще "радиоактивность". Конечно, приемы обезвреживания существуют и совершенствуются, но их применение не может быть, что ли, огульным, гарантирующим успех безотносительно к тому, какие радионуклиды представляют в данном случае опасность, - скажем, радиоцезий или плутоний. Так что используемые сейчас в быту различные фильтры для обезвреживания воды, безусловно, изделия не вредные, но к их рекламным показателям "очистки от радиоактивности" все-таки следует относиться более внимательно и отдавать предпочтение тем, для которых указана эффективность извлечения индивидуальных радионуклидов и динамический ресурс фильтра.

Существует и такой взгляд на проблему радиоактивности. Дескать, не загрязнили бы биосферу радионуклидами, не было бы и необходимости в "очищении и выведении". Отчасти это так. Техногенное рассеяние естественных и искусственных радиоактивных элементов и индивидуальных радионуклидов изменяет характер их распространения в биосфере и в ряде случаев увеличивает дозовую нагрузку на ни в чем не повинных людей, не занятых в конкретном производстве и не получающих никаких компенсаций за "профвредность". Но не будь развиты ядерная физика и радиохимия с их методами, человечество никогда бы и не узнало, что многие изверженные горные породы, например гранит, а также практически все фосфориты, содержат повышенное количество природных радионуклидов и весьма, как говорят дозиметристы, "светятся".

Природные радиоактивные элементы содержатся в очень многих полезных ископаемых, особенно в полиметаллических рудах. Довольно радиоактивны также многие сорта угля и сланцев, в первую очередь высокзолые, поэтому зола и шлаки требуют высокой осторожности при вторичном использовании. Оказывается, что заметно радиоактивны и, в частности, выделяют радон в небезразличном количестве и некоторые минеральные строительные материалы, что повышает вероятность онкологических заболеваний у людей, живущих в таких домах. "Радоновый бум", кстати сказать, охватил многие цивилизованные страны. Радон стали причислять к главным виновникам возникновения рака легкого. Но более тщательное изучение этой проблемы породило гипотезу, что радоновая опасность преувеличена и, более того, была выдвинута концепция так называемого гормезиса, по которой облучение организма в некоторых малых дозах при малой мощности дозы, напротив, благоприятно, чем и объясняется, в частности, лечебное действие радоновых ванн. Впрочем, сегодня эту проблему еще нельзя считать достаточно изученной, чтобы уверенно обсуждать ее в популярной статье.

Открытие Беккереля явилось началом освоения человечеством силы геологического масштаба. В этой новой ситуации обострилась проблема согласования этических, социальных, психологических и правовых сторон использования явлений, связанных с распадом, делением и синтезом атомных ядер, и знанием, обеспечивающим инженерную деятельность. Теперь недостаток знаний и, в особенности, следование ложным или мифологизированным представлениям о сущности ядерно-физических процессов следует рассматривать как своего рода безнравственность, могущую причинить и сиюминутный, и отсроченный ущерб человечеству. Во всяком случае взвешенная настороженность по отношению к радиоактивности сейчас гораздо полезней, чем безразличие и, тем более, провозглашение ее в свете концепции гормезиса очередной панацеей.

В эпоху, насыщенную наукоемкими технологиями, сложными и небезопасными, как, например, ядерная энергетика, каждый человек должен иметь некий минимум знаний, чтобы самостоятельно ориентироваться в информации о "радиационной обстановке", которая до сих пор является, хотя бы частично, ложной или неполной, или о других технологических осложнениях. При этом нельзя полагаться на "брошюрные" рекомендации, как правило, безграмотные. В то же вре-

мя, даже пятнадцать лет спустя после аварии на ЧАЭС, мало что сделано для распространения нефантазийных знаний о радиоактивности и принципах инженерно-физических технологий в рамках ядерного топливного цикла. Мода на физику прошла, а на химию, по крайней мере в России, - и не устанавливалась. В большинстве учебных программ вузовских специальностей, касающихся переработки разнообразных природных материалов, проблема радиоактивности вовсе не упоминается. Однако многие виды сырья и материалов, как сказано выше, содержат природные радионуклиды семейств урана-238, урана-235 и тория-232. Поэтому металлурги, теплоэнергетики, химики, строители, работники сельского хозяйства, даже архитекторы и дизайнеры, имеющие дело с природными материалами, нуждаются в ориентировочных, но научно выверенных представлениях о радиоактивности и связанных с ней проблемах. Небольшой (10-12 часов) курс, приспособленный к базовому образованию слушателей, решает эту задачу. Таким опытом располагают кафедры радиохимии МГУ им. М.В. Ломоносова и УГТУ-УПИ.

Спустя сто с лишним лет после открытия, сделанного Беккерелем, "закрыть" явление радиоактивности и закономерности ядерной физики, ядерной химии и радиохимии невозможно. Окружающий мир принципиально и изначально радиоактивен. И наши знания о свойствах и источниках ионизирующих излучений, даже если они не будут прилагаться к военным или энергетическим задачам, полезны хотя бы потому, что позволяют измерять и оценивать воздействие еще одного фактора природы на неживое и живое вещество, причем фактора *объективно существующего* и поэтому *неустранимого*.

Очередной шаг в создании научной картины мира, как это происходило и прежде, предоставил человечеству возможность выбора: существует путь разумного освоения и обуздания могучей стихии, но возможны и другие исходы - атомная война и ядерная авария. Трезво мыслящие политики, облеченные властью и правом принимать решения, по-видимому поняли, что применение этой силы в военных целях стратегически бессмысленно [6-8]. Что же касается безопасности обращения с "мирным атомом", то она вполне может быть доведена до приемлемого уровня, признаваемого обществом, если будут введены в эксплуатацию новые типы атомных реакторов с

жидкометаллическими и солевыми (расплавными) рабочими телами и будет осуществлена замкнутая технология (давно, кстати, разработанная) ядерного топливного цикла, предусматривающая возврат ОЯТ³. Переработка ОЯТ вместо его долговременного хранения с неопределенной перспективой (то, что наблюдается сейчас) является обязательной стадией ресурсосберегающего подхода к использованию ядерной энергии. ОЯТ - это не *отходы* атомной энергетики, а *оборотный ресурс*, позволяющий максимально полно реализовать энергию всех делящихся ядер в тепловыделяющих элементах и в конечном итоге свести объем продуктов деления, предназначенных к долговременному хранению, к теоретическому минимуму. Непотребную терминологию, утвердившуюся в отношении ОЯТ в средствах массовой информации, следовало бы называть "физико-химической клеветой", в которой присутствуют, как и во всяком продукте манипуляции сознанием, и преувеличения, и умолчания.

Безусловно, грамотная и безопасная эксплуатация любых ядерно-физических установок возможна лишь в обществе, поднявшемся не столько в цивилизованности, сколько в культуре, над некоторым рубежным уровнем, гарантирующим осмысленное, а не подражательное отношение к технике. Это общественное состояние достигается только с помощью образования и просвещения народа, каким бы трюизмом данное требование ни выглядело.

В первом году третьего тысячелетия в правящих кругах российского общества созрело убеждение, что именно образование как способ аккумуляирования "этнической" энергии заслуживает приоритетного отношения и, в первую очередь, экономической поддержки. Это уже сам по себе благоприятный признак выздоровления общества. Однако дело в следующем: еще очень многим людям, и не только в нашей стране, предстоит проглотить горькую пилюлю, смирившись с тем, что в научно-техническом прогрессе невозможно регулируемое движение вспять: это может быть следствием только социальных катастроф. "Назад пути нет. Человек не может вернуться в пещеры. Вы проклинаете телевизор, но будете продолжать смотреть его. Назад пути нет. Путь иной" [3].

Подведем итоги. *Одномомментный отказ* (в виде какого-нибудь "Постановления" или "Указа") от

³ Аббревиатура ОЯТ даже специалистами в области ядерной энергетики расшифровывается по-разному: "отходы" ядерного топлива, "отработанное" или даже "оборотное" ядерное топливо. Идеальное воплощение ядерного топливного цикла согласуется с термином "оборотное".

использования атомной энергетики и других форм освоения физического микромира чреват системным "самоотравлением", наблюдающимся при распаде любых сложных систем, к которым относится инфраструктура ЯТЦ.

С другой стороны, плановое, *постепенное* и рассчитанное на несколько лет "выведение" ЯТЦ из техносферы сразу же создаст кадровую проблему и приведет общество в социально-экологический тупик, поскольку из этой наукоемкой области энергетики первыми станут "эмигрировать" самые образованные специалисты, надеющиеся еще "засветло" определить свою дальнейшую судьбу. Поэтому момент системного самоотравления в этом случае скорей всего будет только отсрочен, предприятия ЯТЦ перейдут в состояние бесхозности всего лишь "немного погодя", чему обязательно поспособствуют оставшиеся "на хозяйстве" или вновь пришедшие специалисты десятого разбора, - люди, как уже было сказано выше, определенного типажа, которые, не мучимые совестью, с равным безразличием сдают в утиль хоть срезанные под напряжением электрические провода, хоть мемориальные доски местных знаменитостей. Одним словом, образец возможного социального хаоса уже явлен (как в песне: и по винтику, по кирпичику растащили весь этот завод). Уйдет научно-техническая элита - придут техносферные мародеры.

Атомная подотрасль, несмотря на по меньшей мере два трагических события (ВУРС и авария на ЧАЭС), является все-таки наиболее культурной в прикладном экологическом отношении сферой технологии. И не нужно забывать, что именно в системе Средмаша были созданы научные школы, решившие в свое время сложнейшие проблемы тонкой химической технологии редких и рассеянных элементов, особо чистых веществ и материалов с заранее заданными свойствами, без чего немыслимо существование и развитие современной техники. И если рассчитывать, что когда-нибудь Россия перестанет выполнять роль сырьевого придатка международной сети передовых технологий, то причиной этому может послужить только повышенный общественный статус образования.

Уральские радиохимики, относящие себя к научной школе Сергея Александровича Вознесенского, давно осознали, что основным способом противостояния радиофобии может быть только просвещение, указывающее рамки, в которых любая природная и техническая стихия выверена по шкале "затраты - польза", ибо по Коммонеру "ничто не дается даром" (четвертый "за-

кон" экологии). Это просвещение должно предоставлять ответ не только на вопрос "кто виноват?", но и на дважды заданный в России вопрос "что делать?".

Нельзя победить оспу, пугая людей "маской красной смерти"; не удастся отвратить чуму, обсуждая статистику мора в средние века; вряд ли можно одолеть наркоманию и СПИД, рисуя графики роста числа людей, на которых пало это проклятие цивилизации; невозможно выработать и невосприимчивость к радиофобии, демонстрируя телят с двумя головами (причиной чему могут быть и мало изученные хемомутагены).

Необходимо *делать прививки* от оспы, *уничтожать крыс* - разносчиков чумы и *организовывать* культурный и спортивный досуг молодежи. И в то же время необходимо разъяснять всем людям, что самым эффективным лекарством от радиофобии может быть только ориентировочное, но не *засоренное домыслами* знание, достигаемое "ликбезом", преподанным "из первых рук" специалистами в области радиоэкологии, радиологии, радиобиологии, радиохимии, дозиметрии или, на худой конец, общей физики без посредничества журналистов, активистов и скандалистов.

Однако путь непосредственного обращения к "широким массам" с намерением их просветить уже не представляется оптимальным: время уважения к клубным лекциям прошло, теперь в клубах кодируют алкоголиков и снимают порчу. Самый надежный способ покорения общественного внимания - обучение учителей, преподавателей дисциплин естественного цикла основам радиоэкологической культуры.

"Если мы не хотим потерпеть фиаско с техникой, то это изменение сознания должно будет найти свое воплощение *прежде всего в педагогике*" [9] (курсив мой. - Ю.Е.). Эта точка зрения давно принята педагогами кафедры радиохимии УГТУ-УПИ, и кафедральный опыт организации "ядерного ликбеза" для школьных преподавателей получил одобрение на рабочем совещании ученых США и СНГ (Сан-Франциско, Калифорния, США. Институт им. Г. Сиборга, 1995 г. Совещание созвано по инициативе Г. Сиборга), где в совместном докладе от России в лице Н.Д. Бетенекова была представлена радиохимическая школа УГТУ-УПИ [10].

В 2002 году исполнилось бы 90 лет Гленну Теодору Сиборгу, американскому радиохимику и физику, возглавлявшему работы по ядерному синтезу большинства трансурановых элементов. Если Беккерель показал, что атом не вечен и мо-

жет, излучая энергию, видоизменяться, то Сиборг продемонстрировал возможность противоположного процесса - не распада, т.е. превращения (видоизменения химической принадлежности) атомов, а синтеза атомов элементов тяжелее урана, трансурановых элементов, в частности плутония.

Прошедшие после открытия Беккереля 105 лет вместили события колоссальной значимости, преобразовавшие все естественные науки. Термин "радиоактивность" и корень "радио-" появились в словаре естествознания (*радиохимия, радиобиология, радиогеология, радиоэкология* и т.п.), обозначив частные науки, изучающие и

обобщающие явления, в основе которых лежат ядерные излучения и ядерные реакции. Под знаком радиоактивности ушел в прошлое XX век с его атомными бомбами и их испытаниями. с "атомной дипломатией", с атомными авариями и дающими энергию атомными электростанциями; с надеждами и опасениями, сопровождающими развитие любых форм знания, ибо, как сказал Екклесиаст, "во многой мудрости много печали".

В XXI веке должна, наконец, родиться мудрая ответственность, утешающая печаль мудрости, - дитя политики, просвещенной естествознанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кедров Б.М. Логика научных открытий, связанных с периодическим законом Д.И. Менделеева // Периодический закон Д.И. Менделеева и его философское значение: Сборник статей. М.: ОГИЗ, Госполитиздат, 1947. С.51-76.
2. Бопп Ф. Введение в физику ядра, адронов и элементарных частиц: Пер. с англ. М.: Мир, 1999. С. 14.
3. Человек и земля: пересмотр отношений. Диалог Б.Рябинина и С.Шварца // Литературная газета. 1975. 5 мая.
4. Моисеев Н.Н. Современный антропогенез и цивилизационные разломы. Эколого-политологический анализ // Вопросы философии. 1995. №1. С.3-30.
5. Сахаров А.Д. Радиоактивный углерод ядерных взрывов и непороговые биологические эффекты // Советские ученые об опасности испытаний ядерного оружия. М.: Атомиздат, 1959. С. 36-44.
6. Питток Б. Последствия ядерной войны: Физические и атмосферные эффекты: Пер. с англ. / Б.Питток и др. М.: Мир, 1988. 392 с.
7. Харуэлл М. Последствия ядерной войны: Воздействие на экологию и сельское хозяйство: Пер. с англ. / М.Харуэлл и др. М.: Мир, 1988. 551 с.
8. Моисеев Н.Н. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями / Н.Н.Моисеев, В.В.Александров, А.М.Тарко. М.: Наука, 1985. 272 с.
9. Заксее Х. Антропология техники // Философия техники в ФРГ: Пер.с нем. М.: Прогресс, 1989. С.424-439.
10. Образование в области радиохимии / И. Звара, А.М. Чекмарев, Н.Д. Бетенеков // Международное сотрудничество. 1996. №3. С.19-20.

* * * * *

LIGHT AND SHADE OF «NEW ALCHEMY»

Yu.V.Yegorov

The phenomenon of radioactivity, decay radiation, nuclear fission, neutron chain reaction and hydrogen reaction form the foundation of nuclear physics, radiochemistry and atomic-energy industry. The development of this industry brings about both the rise of quality of life, and the emergence of public concern in consequence of the Kyshtym explosion (1957) and Chernobyl catastrophe (1986). To ensure against radiophobia the suggestion has been made that only specialists in nuclear physics, radiochemistry and radioecology have to disseminate information relative to the probleme.

The article has been dedicated to the memory of professor S.A. Vosnesensky, the founder of Ural radiochemistry school.